

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

LIBEREC 2012

PAVEL RÝDL

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2646 – Informační technologie

Studijní obor: 1802R007 - Informační technologie

## **Bezdrátové tlakové senzory**

## **Wireless pressure sensors**

### **Bakalářská práce**

Autor: **Pavel Rýdl**

Vedoucí práce: **Prof. Ing. Ondřej Novák, CSc.**

V Liberci 1. 2. 2012

**Zadání bakalářské práce**

( vložit originál )

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval firmě Diagnostika – Rýdl, s.r.o. za podporu a možnost testovat bezdrátovou diagnostiku na nákladních vozidlech i autobusech jak staticky, tak i při běžném silničním provozu. Velmi si považuji umožnění školení brzdových systémů ve Vídni od firmy Wabco. Dále bych chtěl poděkovat firmě Telegesis, která velmi ochotně pomáhala při případných problémech s bezdrátovou sítí a s návrhem bezdrátové sítě a vedoucímu práce Prof. Ing. Ondřeji Novákovi, CSc. za cenné rady.

## **Anotace**

V této bakalářské práci se zabývám návrhem a konstrukcí bezdrátového zařízení určeného k měření tlaku vzduchu v brzdové soustavě užitkových vozidel a bezdrátového zařízení pro čtení sběrnice CAN užitkového vozidla pro diagnostiku základních informací z elektronické jednotky. Doplněním této práce jsem provedl základní test bezdrátové sítě, která obsahuje test maximálního dosahu a test stability a dále měření v praxi na kanále i za jízdy.

## **Annotation**

In this thesis, I deal with design and construction of wireless device for measuring air pressure in brake system of trucks and wireless device for reading basic data from CAN bus. I performed basic tests of wireless network like a maximum range and stability of data transfer. I measured a truck both on assembly pit and during driving.

## **Klíčová slova**

Brzdy, bezdrátová síť, tlakový senzor, užitkové vozidlo, mikroprocesor PIC

## **Key words**

Brakes, wireless network, pressure sensor, truck, microprocessor PIC

## Obsah

1. Úvod .....	7
2. O měření vzduchové soustavy nákladního vozidla .....	8
2.1. Základní brzdová soustava nákladního vozidla.....	8
2.2. Základní brzdová soustava přípojného vozidla .....	9
2.3. Druhy tlakových senzorů.....	10
2.4. Existující diagnostika brzd vzduchové soustavy .....	10
3. Cíl práce.....	12
4. Návrh řešení.....	13
4.1. Bezdrátové sítě .....	13
4.2. Tlakový senzor .....	14
4.3. Řídící obvod .....	15
4.4. Kalibrace.....	16
4.5. Sběrnice CAN nákladního vozidla .....	16
4.6. Jednoduchý software pro zobrazení grafů .....	17
5. Realizace řešení .....	18
5.1. Bezdrátový tlakový senzor .....	18
5.1.1. Popis firmwaru pro mikroprocesor PIC.....	18
5.1.2. Popis funkce a schéma hardwaru.....	20
5.2. Bezdrátový modul pro čtení ze sběrnice CAN .....	22
5.2.1. Popis firmwaru pro mikroprocesor PIC.....	22
5.2.2. Popis funkce a schéma hardwaru.....	23
5.3. Jednoduchý software .....	25
5.3.1. Popis funkce.....	25
6. Vyhodnocení řešení .....	28
6.1. Výsledky testů dosahu a spolehlivosti.....	28
6.2. Výsledky statického měření nákladního vozidla .....	29
6.3. Výsledky dynamického měření nákladního vozidla.....	30
7. Shrnutí práce .....	32
8. Seznam použité literatury .....	33

## 1. Úvod

V dnešní době se na našich pozemních komunikacích pohybuje nesmírné množství nákladních vozidel, autobusů a mnoho dalších dopravních prostředků. Je důležité, aby bezpečnost těchto dopravních prostředků se neustále zvyšovala, a hlavní podíl na bezpečnosti provozu je správně nastavený brzdový systém. Vzhledem k tomu, že nákladní vozidla ve většině případů používají k brzdění vzduch, je nutné zaručit, aby se tlakový vzduch dostal do brzd ve správný okamžik a zaručil tak bezpečné zastavení vozidla. Vzduch se používá i na další funkce nákladního vozidla, například otevírání dveří u autobusu, ke zvedání nápravy nebo pérování.

V současnosti je proces brzdění v moderních nákladních vozidlech řízený vestavěným počítačem, který vyhodnocuje adhezní podmínky, rychlost vozidla i váhu vozidla a také umožní nejen bezpečnější zastavení vozidla, ale také sníží opotřebování pneumatik. Pro správné brzdění je nutné správné nastavení jednotlivých náprav, zvláště správné časování, kdy některá náprava brzdí dříve než ostatní. Proto je nutné správné nastavení jízdních souprav, aby návěs netlačil tahač, nebo aby tahač nebyl brzděn návěsem. Nesprávné nastavení má pak vliv i na sjíždění a nepřiměřené zahřívání brzdných destiček, jejich opotřebení a stav pneumatik.

Můj návrh bezdrátových tlakových senzorů je možné použít k měření tlaku vzduchu každé nápravy, popřípadě jednotlivého kola za jízdy, kdy podle mého názoru dosáhnou přesnějších výsledků měření, než bych dosáhl statickým měřením na kanále. Při měření nákladního vozidla při běžném provozu je možné sledovat například úniky vzduchu a též skutečné chování vzduchové soustavy na našich komunikacích. Dále je možné použít bezdrátové tlakové senzory k měření náběhu, průběhu tlaku a jejich závislosti.

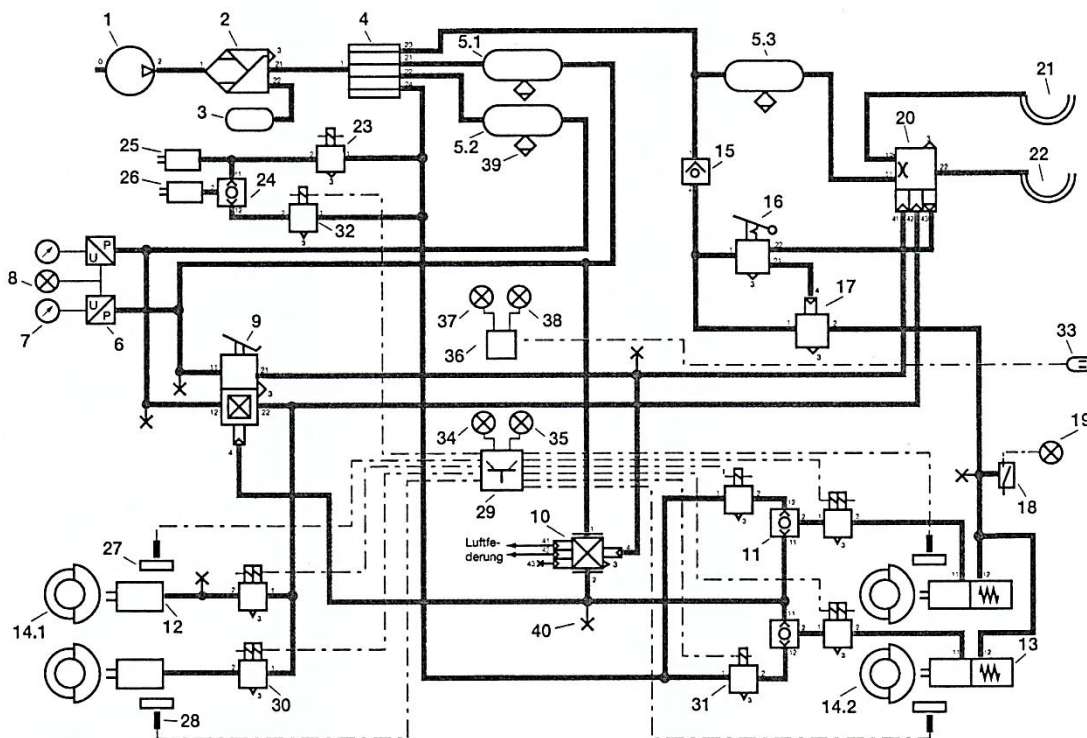
Vzhledem k mnohem většímu počtu moderních vozidel, která využívají vestavěné počítače k vyhodnocování jízdy bylo nutné navrhnout další bezdrátový modul, který se připojí ke sběrnici CAN vestavěného počítače nákladního vozidla a přijímá základní údaje o jízdě jako rychlost, zrychlení, zpomalení, stav sešlápnutého brzdového pedálu, ale také tlak jednotlivých náprav nebo brzdových jednotek. Díky datům z vestavěného počítače nákladního vozidla mám možnost zkontrolovat, zda-li údaje jsou stejné s výsledky měření bezdrátových senzorů a tak lépe identifikovat problém vozidla při závadě.



## 2. O měření vzduchové soustavy nákladního vozidla

### 2.1. Základní brzdová soustava nákladního vozidla

Na obrázku č. 1 je zobrazena brzdová soustava nákladního vozidla se systémem ABS a automatickým zátěžovým regulátorem. Pro diagnostiku problému je důležité znát základní funkci přístrojů v brzdové soustavě. Popis funkce je následující: Při nastartování motoru nákladního vozidla se uvede do provozu kompresor (1), který vytváří tlak vzduchu. Vzduch proudí přes vysoušeč (2), do regeneračního vzduchojemu (3) a do čtyř okruhového jisticího ventilu (4). Po dosažení otevíracího tlaku jisticího ventilu je tlak přiveden do vzduchojemu pro okruhy 1 a 2 (5.1 a 5.2), k hlavnímu brzdíči (9) a tlakovým senzorům (6). Po naplnění jednoho ze vzduchojemů (5.1 a 5.2) dochází k plnění vedlejších zařízení. Pořadí je dáno jisticím ventilem (4). Jeden vývod z jisticího ventilu (4) je přiveden do vzduchojemu (5.3) pro třetí okruh, druhý vývod zásobuje elektromagnetické ventily (23 a 32) a brzdové ventily (31). Ruční brzdový ventil (16) a reléový ventil (17) jsou plněny přes zpětný ventil (15). Od vzduchojemu (5.3) proudí tlakový vzduch přes brzdíč přívěsu (20) k plnicí spojkové hlavici (21).



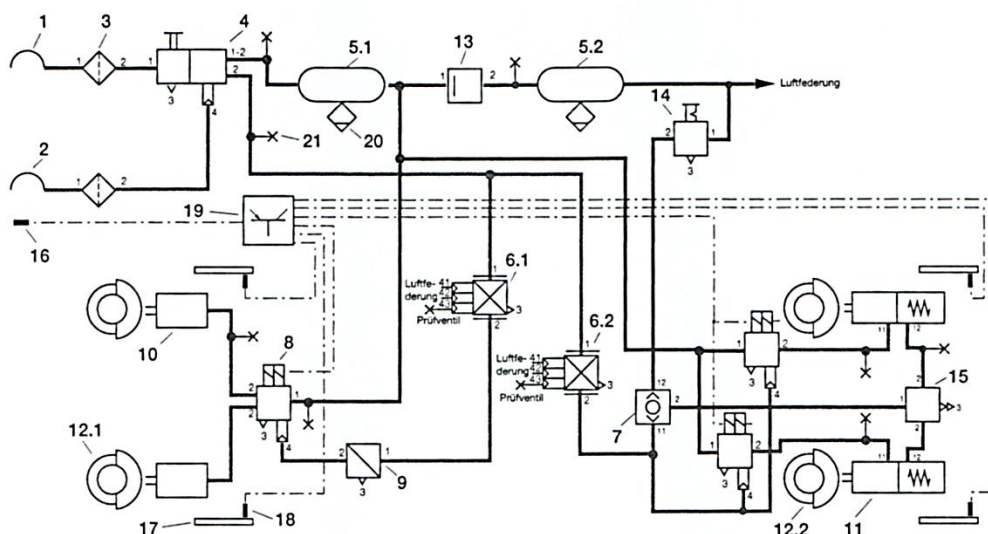
Obrázek 1 - Vzduchová brzdová soustava nákladního vozidla dle 71/320/ EHS [3].

Po dosažení provozního tlaku ve všech okruzích probíhá plnění rovnoměrně až po dosažení vypínacího tlaku. Po dosažení vypínacího tlaku se otevírá vypouštěcí ventil regulátoru tlaku, který je vestavěný ve vysoušeči vzduchu (2) a vypustí tlak vzduchu dodávaný od kompresoru (1) i z regeneračního vzduchojemu (3). Regulátor tlaku, vestavěný ve vysoušeči vzduchu (2) zůstává v této poloze až do poklesu tlaku na spínací tlak.

Při brzdění, tedy stlačením pedálu na hlavním brzdíči (9) se zvyšuje tlak v obou brzdových okruzích. Na zadní nápravu přes automatický zátěžový regulátor (10) a na brzdíč přívěsu (20) působí tlak jako ovládací. Automatický zátěžový regulátor (10) plní dle stavu zatížení vozidla provozní část kombinovaných válců zadní nápravy (13) a dále ovládací přípojku regulace tlaku přední nápravy integrovanou v předním brzdíči (9). Řízený brzdový tlak pro přední nápravu zaplní brzdové válce (12) a působí na brzdíč přívěsu (20) jako řídicí tlak. Regulace přední nápravy integrovaná v brzdíči (9) při tom reguluje brzdový tlak přední nápravy příslušně dle regulačního poměru a na ovládacím přívodu působícího tlaku na zadní nápravu.

## 2.2. Základní brzdová soustava přípojného vozidla

Na obrázku č. 2 je schéma soustavy přípojného vozidla se systémem ABS s automatickými zátěžovými regulátory.



Obrázek 2 - Vzduchotlaká brzdová soustava přípojného vozidla dle 71/320/ EHS [3].

Při plnění soustavy proudí tlakový vzduch přes plnicí spojkovou hlavici (1) a prochází filtrem (3) k rozvaděči přívěsu (4). Od něho se tlakový vzduch dostává do vzduchojemu provozní brzdy (5.1) a odtud k modulátoru (8). Po dosažení otevíracího tlaku na přepouštěcím ventilu (13) dochází k plnění vzduchojemu (5.2) pro vedlejší spotřebiče.

Při brzdění proudí brzdový tlak přes spojkovou hadici (2) a filtr (3) k rozvaděči přívěsu (4). Rozvaděčem přívěsu (4) nastavený brzdový tlak odpovídá ovládacímu tlaku. Automatické zátěžové regulátory (6.1 a 6.2) tento brzdový tlak regulují v závislosti na zátěži a zavzdušňují ovládací přípojky modulátorů (8), při čemž je pro přední nápravu zařazen do vedení ještě omezovací ventil (9). Modulátory (8) pak odpovídajícím tlakem plní brzdové válce přední nápravy (10) a rovněž provozní části kombinovaných válců zadní nápravy (11).

### **2.3. Druhy tlakových senzorů**

Tlakové senzory rozdělujeme podle typu měření na absolutní, kdy tlak působí na jednu stranu membrány a na druhé straně je referenční tlak (vakuum), na diferenciální, kdy dva tlaky působí z každé strany na membránu a počítá se rozdíl a manometrické, kdy na jednu stranu membrány působí tlak a na druhou stranu atmosférický tlak. [2]

Tlakové senzory mohou mít digitální výstup, kdy senzor komunikuje přes komunikační rozhraní SPI nebo I2C. Výhodou je integrovaný AD převodník přímo v tlakovém senzoru. Tlakové senzory s analogovým výstupem mají výstup napěťový nebo proudový.

### **2.4. Existující diagnostika brzd vzduchové soustavy**

Na trhu je mnoho diagnostických zařízení umožňující měření tlaku na jednotlivých nápravách včetně čtení dat z CAN sběrnice a následné analýzy. Mezi nejpoužívanější diagnostické nástroje jsou přímo od výrobců vzduchových součástí pro užitková vozidla jako je KNORR-BREMSE[6] a WABCO[5].

Firma KNORR-BREMSE nabízí nové diagnostické zařízení NEO, které má mnoho variant od jednoduché diagnostiky až po komplexní diagnostiku nejnovějších nákladních vozů. Varianty se od sebe liší vybavením diagnostického kufříku. Tato diagnostika neobsahuje žádné tlakové senzory, tlak se načítá přímo z řídicí jednotky pomocí CAN sběrnice. Diagnostika umožňuje automaticky detekovat systém vozidla, číst a mazat chyby v jednotce, aktivovat akční členy, zkoušet ostatní systémy vozidla, ale i měřit tlaky a umožňuje sladění soustavy.

Firma WABCO nabízí kompletní sadu programů pro diagnostiku nákladních vozidel. Diagnostika se připojuje do kontrolní zásuvky a dovoluje diagnostiku vestavěné jednotky a ostatních zařízení. Je možné měnit parametry brzd, číst chyby zaznamenané v jednotce a tak umožnit mechanikům snadněji nalézt a opravit závadu na vozidle. Programy jsou však většinou určeny pro určité typy vozidel, takže na mnoho dalších vozidel se tento diagnostický nástroj nedá použít.

Další firma, která se zabývá diagnostikou nákladních, ale i osobních vozidel se jmenuje MAHA[10]. Pro servis nabízí válcovou stolicí s bezdrátovými senzory. Tato diagnostika dokáže změřit brzdový účinek a díky bezdrátovým sensorům je možné sladit tahač s návěsem. Pro lepší výsledky je vhodné nákladní vozidlo měřit naložené.

Jako poslední firma, kterou zde zmíním se nazývá Cojali[11]. Jejich diagnostický nástroj s názvem Jaltest slouží ke kompletní diagnostice elektronických částí užitkového vozidla.

Bohužel, nevýhodou všech těchto diagnostických zařízení je nemožnost měření nákladního vozidla za jízdy.

### 3. Cíl práce

Cíl mé práce je navržení schématu bezdrátového tlakového senzoru a bezdrátového modulu pro příjem dat ze sběrnice CAN, který by měl mít malou spotřebu a spolehlivou bezdrátovou komunikaci. Dle daných podmínek musím zvážit výběr součástek a bezdrátového modulu vzhledem k dostupnosti a ceně a samozřejmě k již zmíněné spolehlivosti. Ve schématu je třeba počítat s možností aktualizace firmwaru v mikroprocesoru a bezdrátovém modulu, aby bylo možné opravovat a přidávat nové funkce.

Dále je třeba navrhnout desky s plošným spojem, které si poté nechám vyrobit specializovanou firmou. Měl by být tvarem přizpůsoben obalu, například plastové trubce, která bude obvod chránit před vnějšími vlivy jako je prach, otřesy a voda. Pro utěsnění bude použita smršťovací bužírka velkého průměru.

Požadavkem je odzkoušení senzorů v praxi jak staticky na kanále, kdy vozidlo stojí a pouze se měří náběh tlaku, tak i dynamicky, kdy se měření provádí za jízdy v běžném provozu a je tak možné vyzkoušet spolehlivost datového přenosu, ale i chování při vibracích a v prašném prostředí.

Bezdrátový tlakový senzor by měl být schopen odesílat alespoň 25 vzorků za sekundu, aby bylo možné zobrazit kvalitní graf a rychlé změny tlaku v brzdě soustavě nákladního vozidla.

Nakonec je nutné naprogramovat jednoduchou aplikaci pro komunikaci s bezdrátovými senzory a zobrazit výsledné naměřené tlaky v grafu.

## 4. Návrh řešení

### 4.1. Bezdrátové sítě

Na začátku volby sítě jsem musel stanovit základní požadavky, které je třeba splnit pro správnou funkci bezdrátového senzoru. Senzor bude napájen z baterie, tudíž by bezdrátový modul měl mít co nejmenší spotřebu elektrické energie a zároveň by měl být spolehlivý s vhodným dosahem (na nákladním vozidle by senzor byl vzdálen maximálně 30 metrů od hlavního přijímače). Další důležitý parametr sítě je maximální přenosová rychlost.

Název	WIFI	GPRS	BLUETOOTH	ZIGBEE
Standard	802.11b	CDMA	802.15.1	802.15.4
Zaměření	Web, Email, Video	Data	Přenos dat	Monitorování, řízení
Přenosová rychlost v Kb/s	11 000	64 - 128	720	20 - 250
Výdrž baterie (dny)	0.5 – 5	1 - 7	1 – 7	100 - 1000+
Dosah (m)	1 – 100	1000+	1 - 10	1 - 100
Výhody	Rychlost	Dosažitelnost	Jednoduchost a cena	Spolehlivost, výdrž a cena

*Tabulka 1 - Porovnání parametrů bezdrátových technologií.*

Z tabulky č. 1 je patrné, že technologie, která vyhovuje mým podmínkám je ZigBee[1]. Díky velké výdrži baterie se senzory mohou používat v terénu bez častého nabíjení a jejich zapojení je velmi jednoduché.

Na trhu je mnoho výrobců modulů ZigBee jako například firma Digi[8], Telegesis[7], Freescale a mnoho dalších firem. Nejvíce se mi líbily moduly od firmy Digi a Telegesis. Zakoupil jsem dva moduly od firmy Digi a odzkoušel spolehlivost. Moduly od firmy Digi se nazývají Xbee PRO, testoval jsem variantu s exténní anténou i s interní čipovou anténou. Napájecí napětí je 3.3 V a mají velmi nízký odběr proudu. Bohužel docházelo k velkým problémům při komunikaci po sériové lince mezi

počítačem a modulem, kdy po několika minutách se přijímala chybná data. Zdálo se, že chyba je v synchronizaci sériové linky a měl jsem podezření na špatné časování modulu. Bohužel ani změna rychlosti sériové linky nepomohla. Celková spolehlivost bezdrátové komunikace byla průměrná, často docházelo ke ztrátě datových paketů a i v některých případech došlo k přerušení spojení. Bohužel firma Digi nereagovala na mé dotazy v emailu, ani na dotazy v jejich fóru, tak jsem se rozhodl nepokračovat s moduly Xbee.

Zakoupil jsem další bezdrátové moduly s označením ETRX357, tentokrát od firmy Telegesis. Komunikace po sériové lince byla bezproblémová stejně jako datový přenos, kdy nedocházelo ke ztrátám. Vzhledem ke skutečně velké vstřícnosti firmy Telegesis, která velmi rychle reagovala na mé dotazy a pomohla se základním nastavením jejich bezdrátových modulů, jsem se rozhodl, že jejich modul použiji v mém návrhu bezdrátového senzoru.

## 4.2. Tlakový senzor

Tlakové senzory jsem vybíral podle velikosti, ceny a jednoduchosti ovládání. Podmínkou byl napěťový výstup, protože se snadno měří AD převodníkem, který je většinou integrován ve většině mikroprocesorů. Dalším důležitým faktorem je maximální tlak, kterým lze senzor zatížit. V mém případě dostačuje tlak 12 barů. Již mám zkušenosti se senzory firmy BHV senzory s.r.o., bohužel jejich cena je velmi vysoká a senzory jsou velké s nevhodně tvarovaným konektorem, který se velmi obtížně dá zabudovat do plastové trubky. Zvolil jsem proto senzor firmy WABCO, který má označení 441 044 104 0, má napěťový výstup, je malý, snadno ovladatelný a běžně se používá v nákladních vozidlech.

Maximální tlak	12 bar
Napájecí napětí	8 – 32 V
Odběr	≤ 15 mA
Rozmezí teplot	-40°C – 80°C
Výstup	0.5 V – 4.5 V
Citlivost	333 V/ bar
Linearita	≤ ± 0.3 %
Hystereze	≤ 0.2 %

V tabulce č. 2 jsem uvedl základní parametry tohoto senzoru. Problém, se kterým jsem se musel

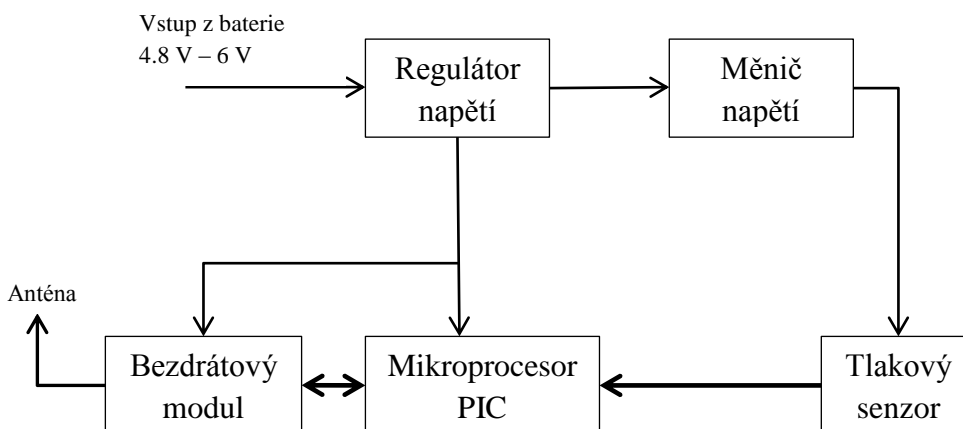
*Tabulka 2 - Parametry senzoru [4].*

vypořádat, je vysoké napájecí napětí. Protože napájení se skládá ze čtyř článků, dosáhnou napětí 4.8 V, což je nedostatečné, proto budu muset použít DC-DC měnič napětí. Pro tento případ jsem zvolil měnič s označením XP POWER IE0312S-H, který má vstupní

napětí 2.97 V – 3.63 V a výstupní napětí 12 V. Maximální výstupní proud je 84 mA, což plně dostačuje pro napájení tlakového senzoru. Dalším problémem, který je třeba vyřešit je, že výstupem senzoru je napětí 0.5 V až 4.5 V, ale řídicí obvody a bezdrátový modul firmy Telegesis má napájecí napětí maximálně 3.6 V. Tento problém by se dal vyřešit jednoduchým napěťovým děličem, například malým trimrem. Před prvním připojením baterie je nutné tento trimmer nastavit na správnou hodnotu tak, aby při vstupním napětí 4.5 V byl výstup 3.3 V.

### 4.3. Řídicí obvod

Řídicí obvod obsahuje součástky, jako mikroprocesor, stabilizátor napětí a konektor pro aktualizaci firmwaru mikroprocesoru, ale i bezdrátového modulu. Při výběru mikroprocesoru jsem se zaměřil na výrobce Microchip, který vyrábí mikroprocesory PIC a vzhledem k tomu, že vlastním mnoho vývojářských desek, budu vybírat pouze mikroprocesory od této firmy. Mikroprocesor by měl obsahovat alespoň jeden 10 bitový AD převodník, který je dostatečný k měření výstupu tlakového senzoru. Další funkci, kterou by mikroprocesor měl obsahovat je sériová linka, která je nutná pro komunikaci s bezdrátovým modulem. Mikroprocesor by měl mít napájecí napětí 3.3 V vzhledem k napájecímu napětí bezdrátového modulu firmy Telegesis. Zvolil jsem proto mikroprocesor PIC 18LF13k22. Napájení bude zajišťovat stabilizátor napětí, jehož výstup je 3.3 V a proud až 1 A. Na obrázku č. 3 lze vidět základní blokové schéma bezdrátového senzoru.



Obrázek 3 - Blokové schéma bezdrátového senzoru



#### 4.4. Kalibrace

Kalibrace je velmi důležitá funkce bezdrátového senzoru, vzhledem k tomu, že každý tlakový senzor může mít trochu jiné vlastnosti, například linearitu nebo výstupní napětí při nulové zátěži. Proto je nutné vymyslet funkci, která daný problém vyřeší a použité hodnoty bude možné uložit do EEPROM paměti mikroprocesoru. Potřebujeme tedy dva koeficienty, jeden bude nulovat, druhý bude určovat velikost přírůstku při určité hodnotě tlaku. Dle rovnice č. 1 vypočítám koeficient, který slouží jako kalibrační hodnota. Proměnná  $p_z$  je tlak, který je naměřen tlakovým senzorem,  $p_s$  je tlak, který je skutečný. Díky koeficientu můžeme částečně napravit linearitu tlakového senzoru. Pomocí rovnice č. 2, kde proměnná  $n$  je nulovací koeficient, který se používá v případě, pokud nezatížený tlakový senzor ukazuje nenulové hodnoty tlaku, proměnná  $p_n$  je naměřený tlak tlakovým senzorem, kde  $k$  je koeficient z rovnice č. 1 a  $p_v$  je výsledný tlak, který je správný.

$$k = \frac{p_z - p_s}{p_s} \quad (1)$$

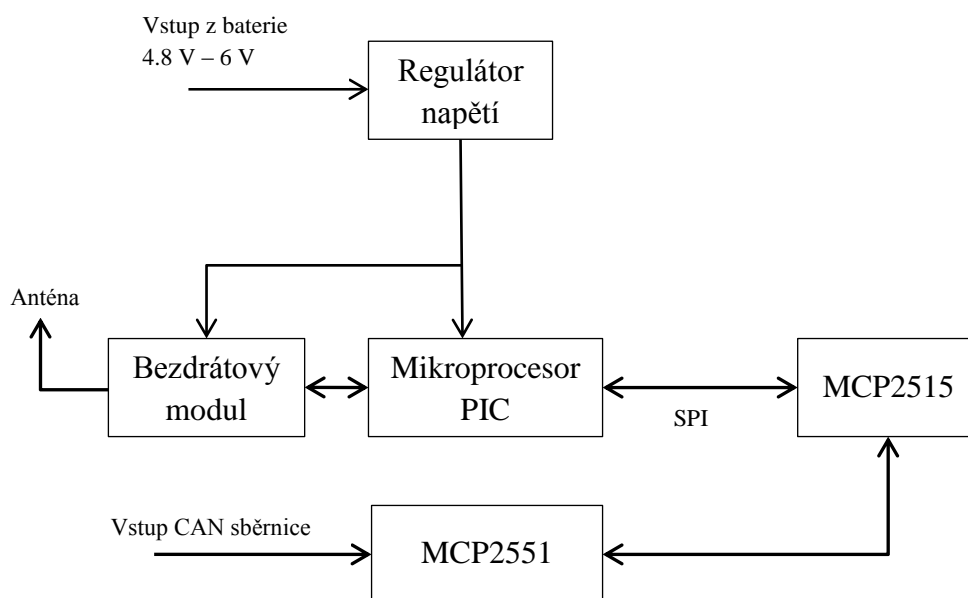
$$p_v = (p_n + n) - ((p_n + n) * k) \quad (2)$$

To znamená, že pokud výstup tlakového senzoru bude 4.5 V, naměřený tlak na senzoru bude 12 barů. Někdy se však může stát, že při 4.5 V naměříme tlak 11.9 barů nebo 12.1 barů a je tedy nutné tlakový senzor kalibrovat pomocí přesného kalibračního senzoru.

#### 4.5. Sběrnice CAN nákladního vozidla

Pro tento účel je potřeba mikroprocesor, který přímo obsahuje modul pro čtení CAN sběrnice. Dále mikroprocesor by měl mít integrovanou podporu pro sériovou linku, která bude potřeba pro komunikaci s bezdrátovým modulem firmy Telegesis. Vybral jsem mikroprocesor PIC18F26K80, který je levný a splňuje mé podmínky. Dále budeme potřebovat součástku, která přijímá data z CAN sběrnice nákladního vozidla a odesílá je do obvodu, který data přečte. Vybral jsem MCP2551 a MCP 2515 od firmy

Microchip, jsou levné a perfektně poslouží v mém řešení. MCP 2515 je obvod, který plně implementuje fyzickou vrstvu CAN sběrnice podle standardu SAE 1939. Mikroprocesor komunikuje s obvodem MCP2515 pomocí SPI.



**Obrázek 4 - Blokové schéma bezdrátového modulu pro CAN**

Na obrázku č. 4 je základní blokové schéma bezdrátového modulu pro příjem informací z CAN sběrnice.

#### 4.6. Jednoduchý software pro zobrazení grafů

Dalším úkolem bylo vytvořit jednoduchý program pro zobrazování grafů, díky kterému dokážeme změřit tlaky ve vzduchové soustavě nákladního vozidla, ale i jejich náběhy s možností měření za jízdy. Program poběží na operačním systému Windows, proto jsem zvolil programovací jazyk C# s použitím knihovny .NET, který je jednoduchý a obsahuje základní funkce jako tvorbu grafů, oken a ostatních prvků. Do programu by bylo vhodné přidat funkci k měření stability spojení a základní statistiku komunikace bezdrátových tlakových senzorů. Pro vykreslování grafů použiji již existující komponentu, která se nazývá „chart“. Je to komponenta obsažená v .NET Framework 4.0. Knihovna .NET dále obsahuje další funkce, například sériová komunikace a velmi jednoduchá knihovna pro práci s vlákny.

## 5. Realizace řešení

### 5.1. Bezdrátový tlakový senzor

#### 5.1.1. Popis firmwaru pro mikroprocesor PIC

Program pro mikroprocesor je napsán v jazyku C a zkompilován vývojovým nástrojem MikroC od firmy Mikroelektronika. Program pro mikroprocesor používá několik základních knihoven pro komunikaci po sériové lince, AD převodníku a pro zápis do vnitřní paměti EEPROM, kde ukládám parametry přenosu a kalibrační konstanty. Po spuštění programu se provede inicializaci portů.

```
TRISA = 0b00000000; PORTA = 0x00;  
TRISC = 0b10000000; PORTC = 0x00;
```

Následuje inicializace sériové linky, přerušení pro příjem sériové linky a AD převodníku.

```
// Inicializace AD převodníku  
ADC_Init();  
  
// Inicializace sériové linky  
UART1_Init(19200);  
Delay_ms(200);  
  
// Nastavení přerušení  
INTCON.GIE = 1;  
INTCON.PEIE = 1;  
PIE1.RCIE = 1;
```

Po základní inicializaci jsou načteny parametry z paměti EEPROM.

```
// Čtení dat z EEPROM paměti  
kalibracni_koef = EEPROM_Read( 0x00 ); delay_ms(50);  
nulovaci_koef = EEPROM_Read( 0x08 ); delay_ms(50);  
rychlost_koef = EEPROM_Read( 0x10 ); delay_ms(50);  
hostaddress = EEPROM_Read( 0x18 ); delay_ms(50);
```

Senzor má několik funkcí. První funkce odesílá data s předem nastavenou časovou mezerou mezi jednotlivými datovými pakety. Další funkce slouží ke zjištění odezvy mezi senzorem a přijímačem a k odeslání a zobrazení všech uložených parametry a konstant v paměti EEPROM. Veškeré parametry je možno nastavit bezdrátově.

Odesílání dat probíhá následujícím způsobem: Z AD převodníku je načtena několikrát hodnota napětí z tlakového senzoru, ze které se vypočítá aritmetický průměr. K vypočtené hodnotě přičtu nulovací konstantu, a pomocí kalibrační konstanty vypočítám hodnotu tlaku, kterou odešlu pomocí sériové linky do bezdrátového modulu.

```

ADC_samples = 0;
for ( i = 0; i < 20; i++ ) ADC_samples += ADC_Get_Sample( 10 );
ADC_value = ADC_samples / 20.0;
ADC_value += nulovaci;
if( ADC_value < 0 ) ADC_value = 0;
ADC_value = (ADC_value - ( ADC_value * kalibracni ));
WordToStr( ADC_value, ADC_value_string);

UART1_Write_Text("AT+UCAST:");UART1_Write_Text(hostaddress);
UART1_Write_Text(",D:");
UART1_Write_Text(ADC_value_string);
UART1_Write( 0x0D );
UART1_Write( 0x0A );

```

Poslední část programu se nachází ve funkci přerušení, která se zavolá po přijetí dat ze sériové linky. Po přijetí zprávy se zpráva načte a podle obsahu se provede určitá činnost. Po zavolání funkce přerušení se přerušení vypne. Otestujeme, zda-li jsou data připravená ke čtení, a pokud ano, načteme řetězec ukončený znakem „!“ . Příkaz pro spuštění odesílání dat je „#S“, pro ukončení „#E“ a pro zjištění odezvy „#P“. Program obsahuje další příkazy, které slouží k nastavení a čtení parametrů a konstant.

```

void interrupt()
{
    // Vypnutí přerušení
    PIE1.RCIE = 0;

    if( UART1_Data_Ready() == 1 )
    {
        UART1_Read_Text( read_char, "!", 32 );

        // Dekódování zprávy
        for( j = 0; j < 32; j++ )
        {
            if( read_char[j] == '#' )
            {
                // Startovací kódy
                if( read_char[j+1] == 'S')
                {
                    stav_senzoru = SENDING;
                    break;
                }
            }
        }
    }
}

```

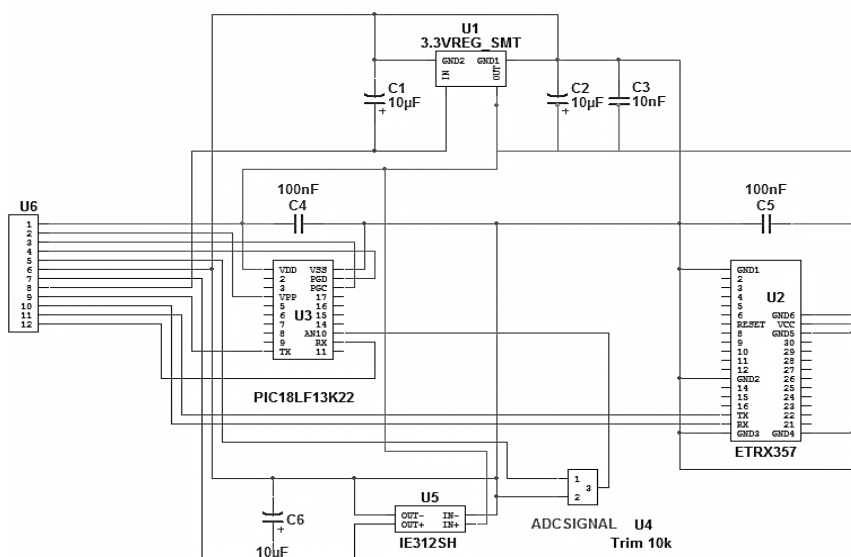
```

    if( read_char[j+1] == 'E')
    {
        stav_senzoru = STANDBY;
        break;
    }
    if( read_char[j+1] == 'P')
    {
        stav_senzoru = PING;
        break;
    }
}

```

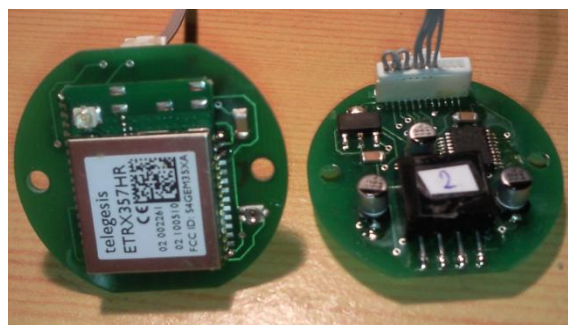
### 5.1.2. Popis funkce a schéma hardwaru

Na obrázku č. 5 je zapojení bezdrátového senzoru. Zařízení je napájeno ze čtyř tužkových baterií typu NiMh, kde celkové napětí je 4.8 V. Z tohoto důvodu je nutné použít regulátor napětí U1, jehož výstup je 3.3 V. Kondenzátory C1, C2 a C3 slouží k vyrovnaní napětí a k filtrování kmitů. Mikroprocesor U3 je hlavní řídicí obvod, který komunikuje prostřednictvím sériové linky s bezdrátovým modulem U2. Sériová linka je vyvedena do konektoru, jenž slouží k programování mikroprocesoru U3, ale také k programování bezdrátového modulu U2, ladění komunikace mezi nimi. Při připojení konektoru se sériová linka propojí a tak můžou obvody spolu komunikovat. Obvod U5 je měnič napětí, který vytváří z napětí 3.3 V napětí 15 V, které je použito pro napájení tlakového senzoru. Trimr U4 zde funguje jako napěťový dělič a při výstupu 4.5 V tlakového senzoru, což je zároveň maximální hodnota na výstupu tlakového senzoru je napětí 3.3 V.



Obrázek 5 - Schéma bezdrátového senzoru.

Na obrázku č.7 je zobrazen vyhotovený a osazený plošný spoj bezdrátového tlakové senzoru. Snažil jsem se navrhnout plošný spoj co nejmenší, abych ušetřil místo v plastovém obalu pro další prvky, jako baterie, anténa a tlakový senzor. Plošný spoj má kruhový tvar, který lépe



**Obrázek 7 - Osazený plošný spoj bezdrátového senzoru.**

zapadne do plastové trubky. Anténa je exténní, jedná se o druh antény jako plošného spoje, která je přilepená na obvodu plastové trubky. Na koncích plastové trubky jsem vysoustružil uzávěry, které obsahují potřebné závity pro našroubování tlakového čidla a pro vypínač a signalizační LED diodu. Nechybí ani konektor, který bude sloužit k nabíjení baterií. Na obrázku č.6 jsou tři zhotovené a plně funkční bezdrátové tlakové senzory. Jako ochranný obal jsem zvolil smršťovací bužírku, která po zahřátí zmenší svůj průměr a utěsní veškeré díry a ochrání tak bezdrátový tlakový senzor před vnějšími vlivy. Pro připojení krátké hadice jsem použil rychlospojky, které usnadní práci bez použití dalšího nářadí. Jako přijímač používám řešení od firmy Telegesis, které je



**Obrázek 6 - Zhotovené tlakové senzory**

vloženo do velmi malého obalu ve stylu USB flash paměti. Je velmi důležité, aby zařízení bylo co nejjednodušší a po připojení k počítači se tento USB přijímač sám nainstaluje pomocí univerzálního ovladače, který je obsažen v operačním systému Windows Vista/7. Chtěl bych však ale podotknout, že tento přijímač bohužel neobsahuje žádný konektor pro exténní anténu a proto signál je mnohem slabší, ač plně dostačující pro účely

měření na nákladním vozidle.

## 5.2. Bezdrátový modul pro čtení ze sběrnice CAN

### 5.2.1. Popis firmwaru pro mikroprocesor PIC

Program pro mikroprocesor PIC18F26K80 je velmi podobný programu pro bezdrátový tlakový senzor. Nejdříve bylo nutné nadefinovat porty pro knihovnu CANSPI, která je obsažená v programu MikroC od firmy Mikroelektronika.

```
sbit CanSpi_CS at RC0_bit;  
sbit CanSpi_CS_Direction at TRISC0_bit;  
sbit CanSpi_Rst at RC2_bit;  
sbit CanSpi_Rst_Direction at TRISC2_bit;
```

V hlavní funkci *main()* se inicializuje sériová komunikace, která slouží ke komunikaci s bezdrátovým modulem a následně se provede inicializace CANSPI knihovny.

```
UART1_Init( 19200 );  
Delay_ms(100);  
  
CANSPIInitialize(1,1,8,8,8, Can_Init_Flags);  
CANSPISetOperationMode(_CANSPI_MODE_LISTEN,0xFF);
```

Inicializace CAN sběrnice není jednoduchá. Je zapotřebí správného načasování. Pro výpočet parametrů jsem použil již vytvořený program, který na základě frekvence krystalu a maximální rychlosti sběrnice (u nákladních vozidel je rychlost sběrnice 250 Kbit/s ) spočítá příslušné parametry. Funkce *CANSPIRead*, pokud je zpráva přijatá, vrací identifikátor zprávy a data zprávy. Identifikátor slouží k rozeznání, co zpráva obsahuje, zda-li se jedná o data z motoru nebo data ze vzduchové soustavy. Zpráva je následně odeslána pomocí sériové komunikace bezdrátovému modulu.

```
while(1)  
{  
    if( stav_senzoru == SENDING )  
    {  
        if(CANSPIRead(idmessage, datamessage, len, rxflag))  
        {  
            sprinti( messageID, "%d", idmessage );  
            UART1_Write_Text("AT+UCAST:");UART1_Write_Text(hostaddress);  
            UART1_Write_Text(",D:");  
            UART1_Write_Text("ID:"); UART1_Write_Text(messageID);  
            UART1_Write_Text("="); UART1_Write_Text("datamessage");  
            UART1_Write( 0x0D );  
            UART1_Write( 0x0A );  
        }  
    }  
}
```

```

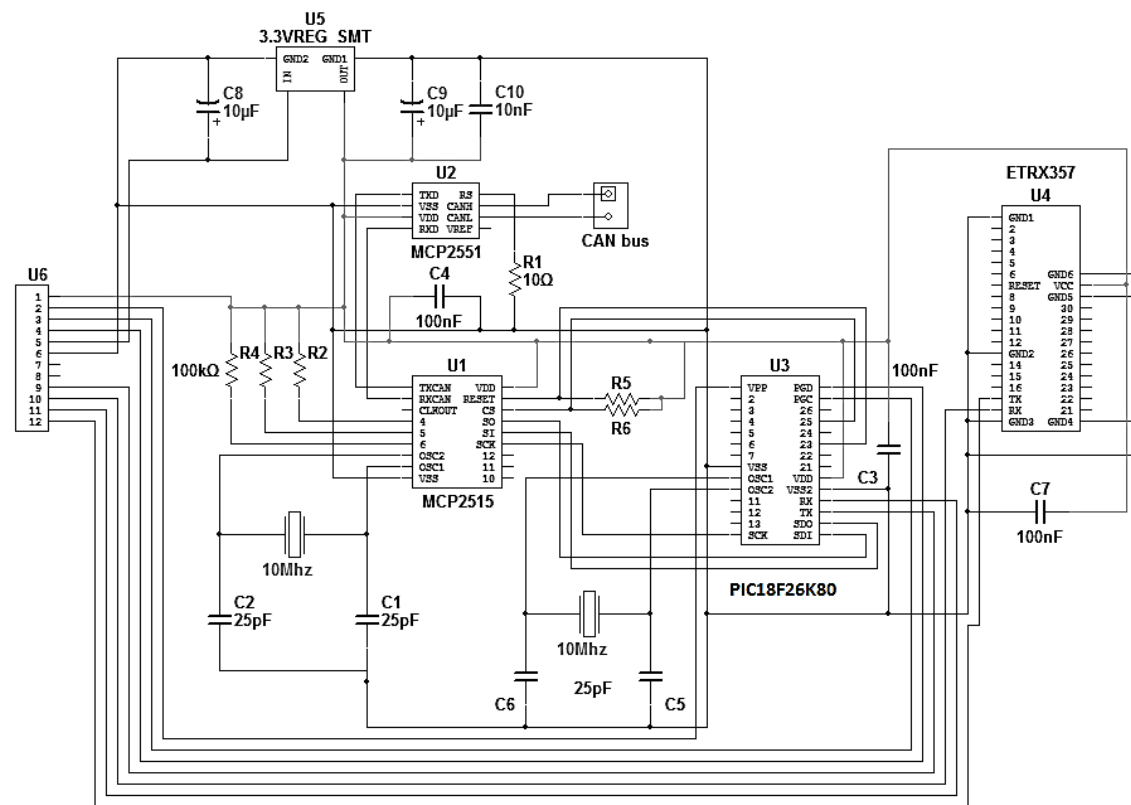
}else if( stav_senzoru == PING)
{
    UART1_Write_Text("AT+ANNCE"); UART1_Write( 0x0D ); UART1_Write( 0x0A );
    stav_senzoru = STANDBY;
}else if( stav_senzoru == READKOEf)
{
    UART1_Write_Text("AT+UCAST:");UART1_Write_Text(hostaddress);
    UART1_Write_Text(",H:"); UART1_Write_Text(hostaddress);
    UART1_Write( 0x0D );
    UART1_Write( 0x0A );
    stav_senzoru = STANDBY;
}
}
}
}

```

Další funkce je například pro získání odezvy a k získání nastavených parametrů, v tomto případě pouze adresu přijímacího modulu. Adresa přijímacího modulu je uložena do paměti EEPROM mikroprocesoru.

## 5.2.2. Popis funkce a schéma hardwaru

Zařízení je napájeno pomocí čtyř tužkových baterií typu NiMh, kde je výsledné napětí sníženo pomocí regulátoru U5 na 3.3 V pro napájení všech dalších součástí.



Obrázek 8 - Schéma CAN bezdrátového modulu.



Na obrázku č. 8 je zapojení čtečky CAN sběrnice. Hlavním obvodem je mikroprocesor U3, který komunikuje s bezdrátovým modulem pomocí sériové linky, která je vyvedena na konektor. Po připojení konektoru se sériová linka obvodu U3 a U4 propojí. Konektor se zde používá pro aktualizaci firmware v mikroprocesoru i v bezdrátovém modulu. Mikroprocesor dále komunikuje s obvodem U1 pomocí SPI komunikace. Obvod U1 slouží ke zpracování dat z CAN sběrnice. Oba obvody U3 a U1 používají jako zdroj hodinového signálu krystal o frekvenci 10 Mhz. Obvod U2 slouží k úpravě signálu z U1 na signál pro CAN sběrnici a naopak.

## 5.3. Jednoduchý software

### 5.3.1. Popis funkce

Program je napsán v programovacím jazyce C#. Skládá se z několika komponent jako sériový port, dvě vlákna a dva časovače. Hlavní částí programu je vlákno, které se stará o příjem dat z bezdrátového modulu. Program běží v nekonečné smyčce a čeká na příchozí data ze sériové linky.

```
if (serialPort1.BytesToRead != 0)
```

Pokud byla přijata data, data se načtou do proměnné a dále porovnávám obsah, abych zjistil, zda-li jsem přijal data nebo další parametry.

```
String recieveddata = serialPort1.ReadLine();
```

```
// Obsahují data FFD řetězec ?
```

```
if (recieveddata[0] == 'F' && recieveddata[1] == 'F' && recieveddata[2] == 'D')  
{
```

```
    // Síla signálu
```

```
    String address = "";
```

```
    for (int i = 0; i < 16; i++) address += recieveddata[4 + i];
```

```
    String power = "";
```

```
    for (int i = 0; i < 3; i++) power += recieveddata[26 + i];
```

```
    short powerint = Convert.ToInt16(power);
```

```
    SetRSSI(address, (short) (100 - (powerint * -1)), powerint);
```

```
} else if (recieveddata[0] == 'U' && recieveddata[1] == 'C' && recieveddata[2] == 'A')
```

```
{
```

```
    // Obsahují data D: řetězec
```

```
    if (recieveddata[26] == 'D' && recieveddata[27] == ':')
```

```
    {
```

```
        String address = "";
```

```
        for (int i = 0; i < 16; i++) address += recieveddata[6 + i];
```

```
        String ADvalue = "";
```

```
        ADvalue += recieveddata[28]; ADvalue += recieveddata[29];
```

```
        ADvalue += recieveddata[30]; ADvalue += recieveddata[31];
```

```
        ADvalue += recieveddata[32];
```

```
        short ADvalueint = Convert.ToInt16(ADvalue);
```

```
        // výpočet tlaku
```

```
        double pressure = (ADvalueint/1024.0) * 12.0;
```

```
        SetPressure(address, pressure);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
    {
```

```
        SetTextColor(Color.Orange);
```

```
        if (recieveddata.Length > 1) AddTextToConsole(recieveddata);
```

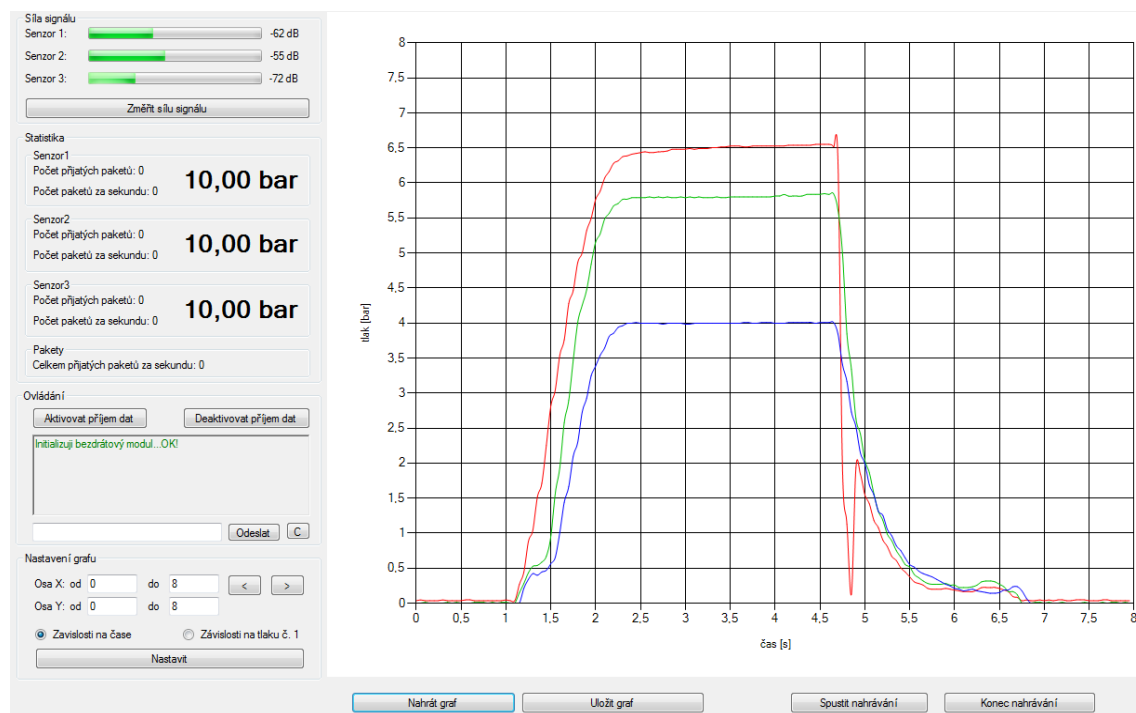
```

    }
}
else
{
    SetTextColor(Color.Blue);
    if( recieveddata.Length > 1) AddTextToConsole(recieveddata);
}

```

Pokud řetězec obsahuje slovo „FFD“, jedná se o odpověď koncového bezdrátového zařízení, která obsahuje i informaci o síle signálu. Tato hodnota je odeslána do druhého vlákna, která spravuje uživatelské rozhraní. Pokud řetězec obsahuje slovo „UCAST“, jedná se o přímou zprávu z bezdrátového senzoru. Pokud tato zpráva dále obsahuje slovo „D:“, za tímto slovem se nachází hodnota, která reprezentuje analogový výstup z tlakového senzoru.

Další zmíněné komponenty jako časovač se stará o statistiky, například počet přijatých datových zpráv za sekundu. Druhý časovač se stará o zakreslování hodnot do grafu každých 50ms.



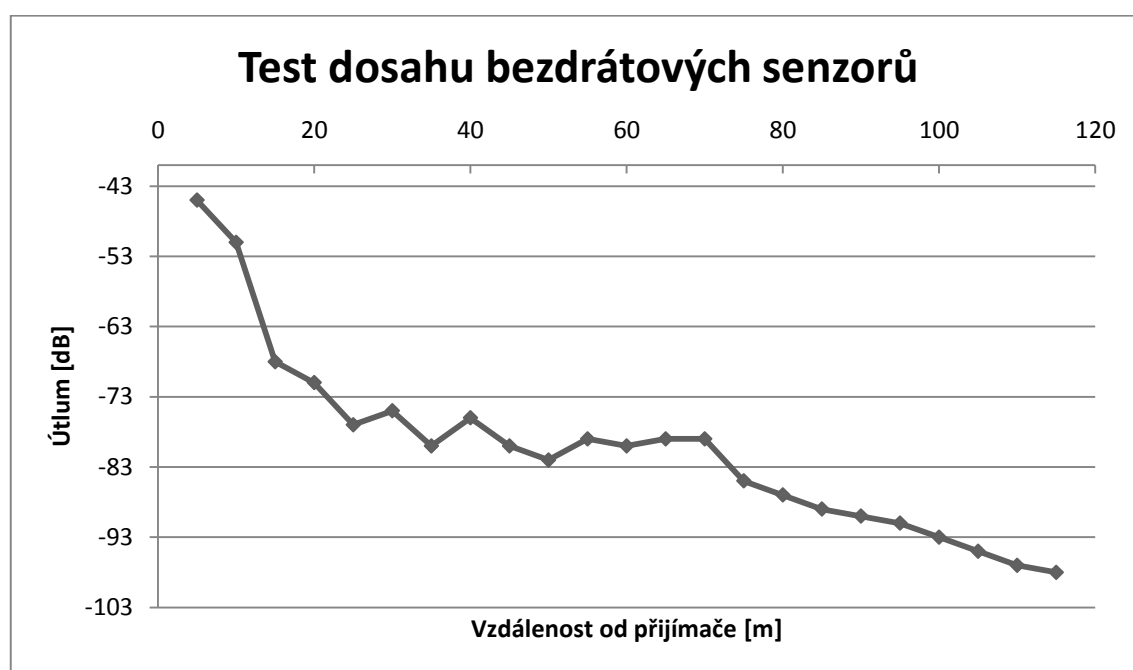
**Obrázek 9 - Rozhraní aplikace.**

Na obrázku č. 9 je zobrazeno rozhraní programu. V levé části se zobrazuje informace o síle signálu včetně hodnoty útlumu v dB. Pro změření síly signálu slouží tlačítko „Změřit sílu signálu“. Statistika ukazuje základní informace jako počet přijatých datových zpráv za sekundu, celkový počet datových zpráv. Tlačítko „Aktivovat příjem dat“ odešle datovou zprávu všem připojených bezdrátovým tlakovým senzorům, aby začaly načítat analogovou hodnotu z tlakového čidla a posílaly ji přijímači. Tlačítko „Deaktivovat příjem dat“ zastaví příjem dat z bezdrátových tlakových senzorů. Dále se zde nachází jednoduchý příkazový řádek pro manuální ovládání bezdrátových tlakových senzorů, ale i nastavování všech jejich parametrů včetně bezdrátové komunikace. Nastavením grafu je možno graf oddalovat, přibližovat, posouvat, nastavovat maximální hodnoty na ose X, tak na ose Y. Naměřený graf lze uložit do souboru a následně zase načíst. Tlačítka „Spustit nahrávání“ a „Konec nahrávání“ slouží k zahájení a ukončení záznamu do grafu.

## 6. Vyhodnocení řešení

### 6.1. Výsledky testů dosahu a spolehlivosti

Měření bylo provedeno na otevřeném prostranství bez překážek s jedním bezdrátovým tlakovým senzorem. Tato oblast sice obsahovala mnoho bezdrátových sítí Wi-Fi, která pokrývala většinu kanálů, ale výsledek byl přesto vyhovující. Bezdrátové moduly mají maximální citlivost -103dB. V grafu č. 1 lze vidět křivku, jež reprezentuje útlum v určité vzdálenosti bezdrátového tlakového senzoru od přijímače.

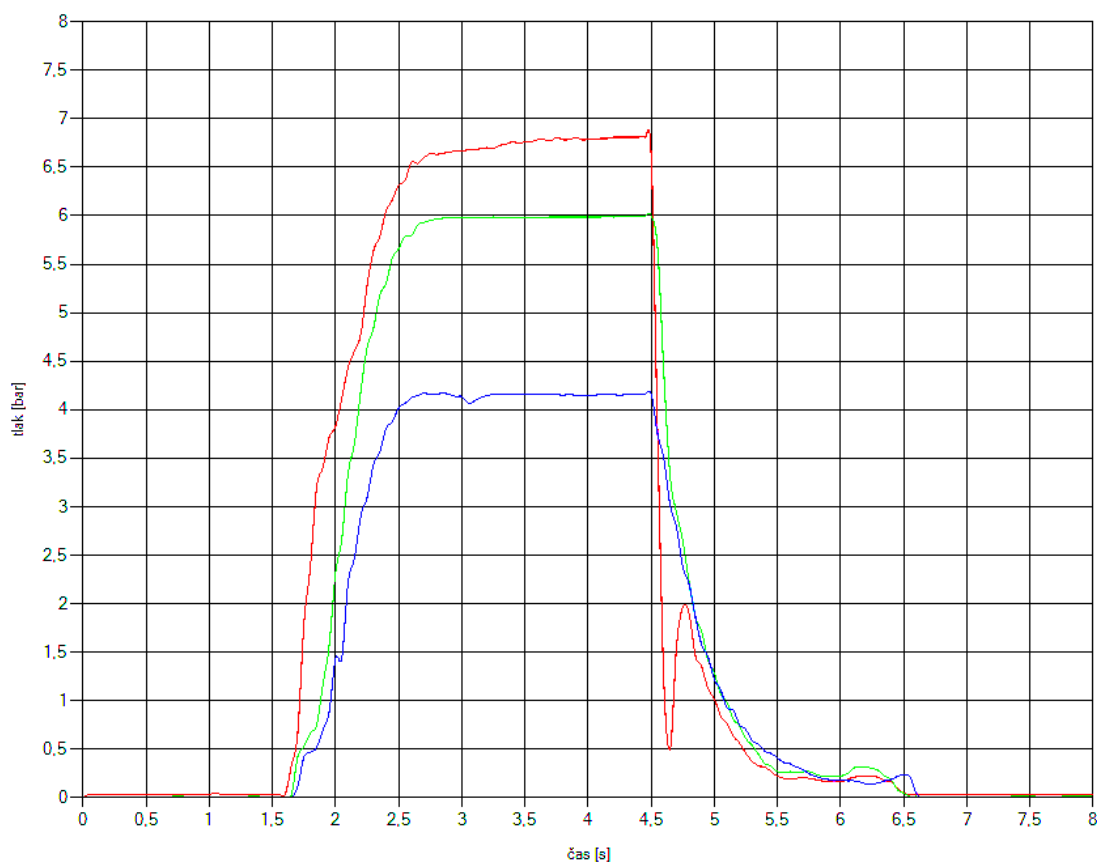


Graf 1 - Test dosahu bezdrátového tlakového senzoru.

Během měření za jízdy docházelo ke ztrátě datových zpráv a tento problém byl vyřešen nastavením bezdrátového modulu, který byl nastaven jako „router“. Pokud signál z jednoho z bezdrátových tlakových senzorů byl slabý, mohl se připojit přes nejbližší bezdrátový tlakový senzor, jehož signál byl mnohem silnější. U některých větších nákladních vozidel s kovovým přívěsem se v některých případech snížil počet přijatých datových zpráv z přednastavených dvacetipěti na patnáct. Pro měření za jízdy je však patnáct datových zpráv za sekundu přijatelné.

## 6.2. Výsledky statického měření nákladního vozidla

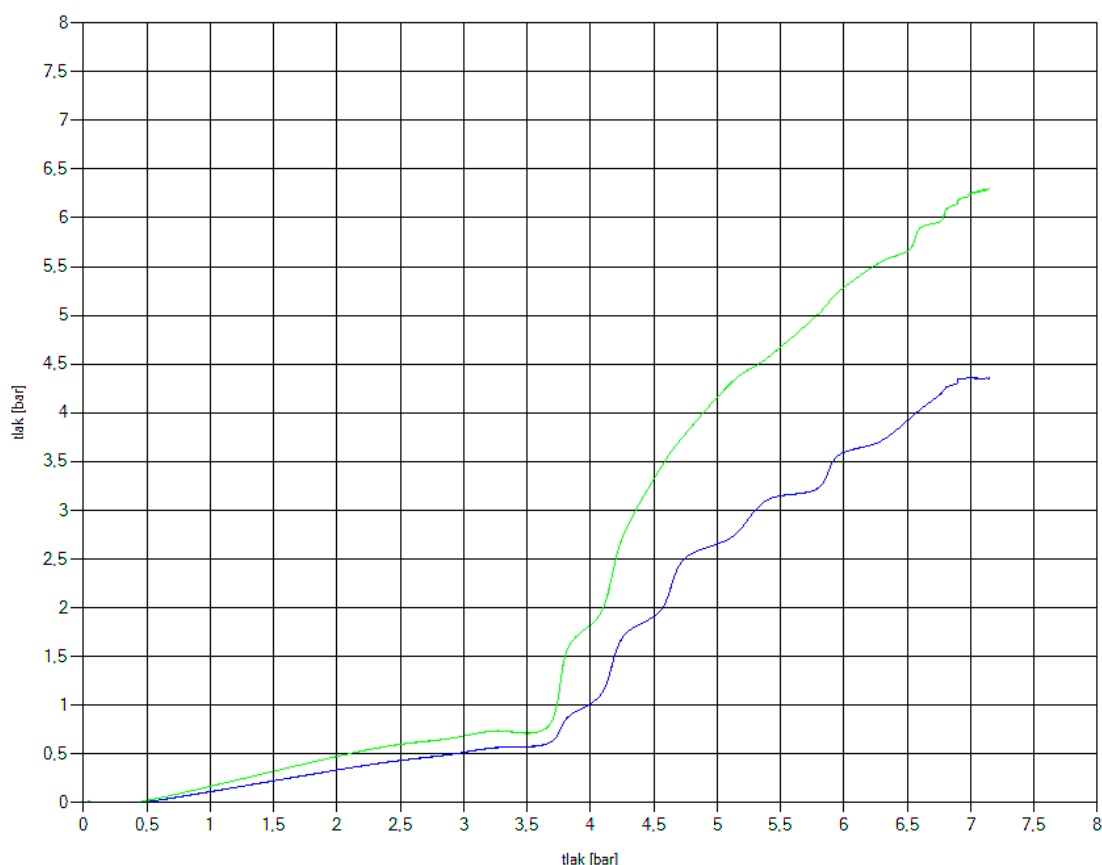
Provedl jsem statické měření nákladního vozidla (tahače), kde byl tlakový senzor připojen na přední nápravu, kterou na obrázku č. 10 reprezentuje křivka zelené barvy, na zadní nápravu, kde křivka má modrou barvu a ovládací tlak, který má barvu červenou. Měření bylo provedeno v závislosti na čase. Na ose X je čas, na ose Y je tlak.



**Obrázek 10 - Graf průběhu tahače.**

Z toho grafického záznamu můžeme zjistit následující hodnoty jako maximální provozní tlak, výši brzdných tlaků jednotlivých náprav, časové náběhy brzdových tlaků i odvzdušnění brzd, časové prodlevy a v případě použití zátěžových regulátorů i jejich tlakové nastavení podle zatížení jednotlivých náprav vozidla.

Na obrázku č. 11 je výsledek měření v závislosti na tlaku. Při tomto měření byl první tlakový senzor připojen na výstup z brzdíče, druhý senzor, jenž je na grafu znázorněn zelenou barvou byl připojen na zadní nápravu tahače a třetí tlakový senzor, jenž je na grafu znázorněn modrou barvou byl připojen na nápravě návěsu. Zjištěné průběhy nám znázorňují průběh brzdného tlaku zadní nápravy tahače s počáteční regulací a brzdného tlaku při maximálním zatížení. Předstih se určí z grafu následujícím způsobem: V místě, kde ovládací tlak má velikost jednoho baru odečteme jeden bar od hodnoty zelené a modré křivky. Někteří určují předstih i při jiném ovládacím tlaku, například dva bary. V případě obrázku č. 11 nelze předstih určit, protože brzdění bylo regulované.

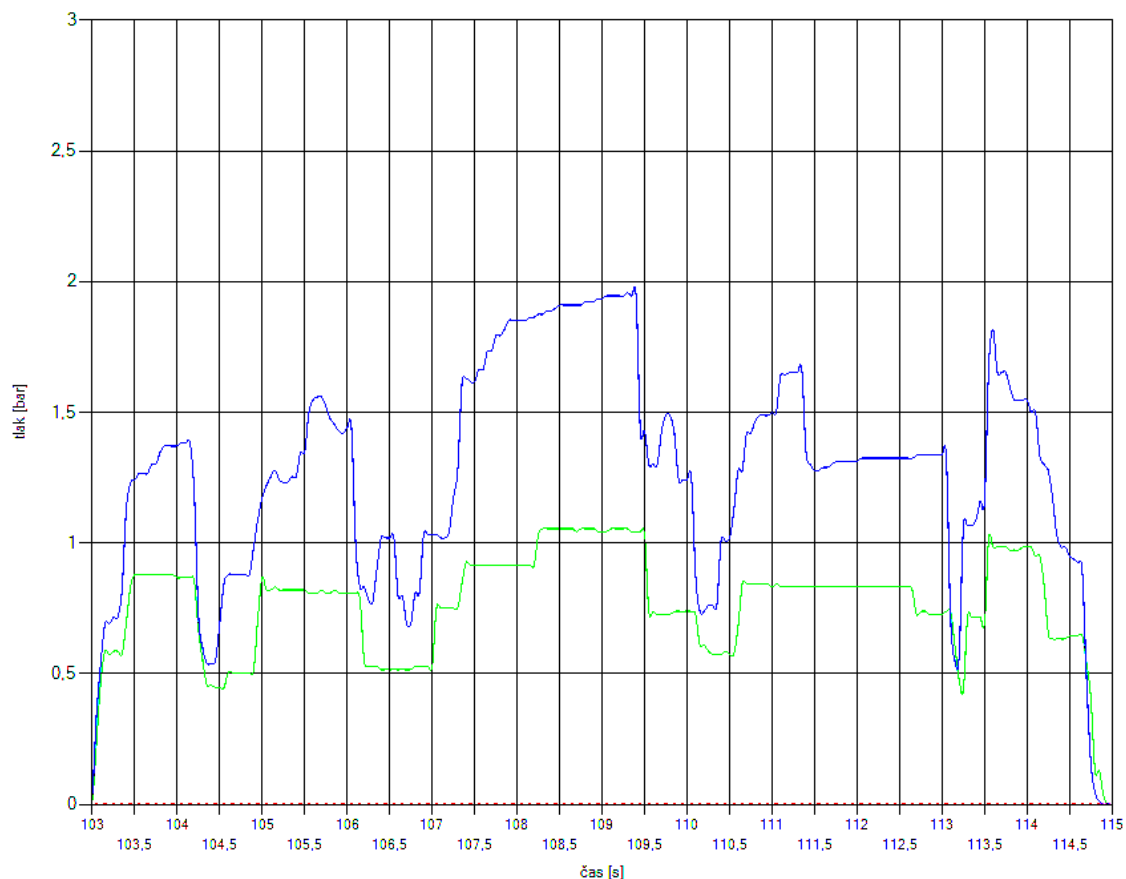


**Obrázek 11 – Průběh tlaku tahače a návěsu.**

### 6.3. Výsledky dynamického měření nákladního vozidla

Měření za jízdy bylo provedeno na tahači s návěsem se systémem EBS. Nákladní vozidlo bylo změřeno pomocí dvou bezdrátových tlakových senzorů, kde první senzor

byl umístěn na zadní nápravě tahače a druhý senzor byl umístěn na zadní nápravě návěsu. Na obrázku č. 12 je zobrazen výsledný graf ve vybraném časovém úseku.



**Obrázek 12 - Měření za jízdy**

Modrá křivka znázorňuje průběh tlaku na zadní nápravě tahače a zelená křivka znázorňuje průběh tlaku na zadní nápravě návěsu. Z grafu je patrné, že zadní náprava tahače brzdí větším tlakem. Velikost brzdových tlaků bylo ovlivňováno vestavěným počítačem, který při jízdě získává údaje o brzdění, změně těžiště a zpoždění. Měřené vozidlo bylo zkontrolováno staticky na válcové brzdové stoličce s vyhovujícím výsledkem. Během jízdy vhodnost nastavení brzdového systému byla i subjektivním pocitem řidiče kladně hodnocena.



## 7. Shrnutí práce

Vývoj brzdových systémů užitkových motorových vozidel je v současné době na velmi kvalitní úrovni. Vozidla mají vestavěný počítač, který na základě vypočítaných hodnot řídí plynulé brzdění vozidla. V případě závady je vestavěný počítač schopen chybu nahlásit na palubní desce, ale bohužel nedokáže odhalit příčinu problému. V praxi pak někdy dochází k chaotickému vyměňování komponentů brzdové soustavy. Výrobci dodávají na trh diagnostické programy, které jsou však vhodná pouze na určitá vozidla.

Tyto popsané problémy při diagnostice vzduchové soustavy nákladního vozidla mě přivedly k navržení a zkonstruování zařízení, které dokáže snímat průběhy brzdových tlaků během jízdy. Zařízení používá bezdrátový modul ZigBee firmy Telegesis a mikroprocesor PIC od firmy Microchip. Bezdrátový přenos je spolehlivý do vzdálenosti 30 metrů a je s ním možno měřit tlak vzduchu až 12 barů. Zařízení je možno využívat při statickém měření na kanále, ale i za jízdy a mohlo by být velkým přínosem i pro malé servisní dílny. Zde je nutno přihlédnout k ekonomice využití. Zařízením je možné měřit všechny typy užitkových vozidel. Ty mohou mít brzdovou soustavu osazenou nejen zátěžovou regulací nebo systémem ABS, ale i v poslední době systémem EBS.

Pro další vývoj a zdokonalení zařízení bude třeba plně využít informací z CAN sběrnice užitkového vozidla, kde jsou informace o rychlosti, zpomalení, hmotnosti a dalších důležitých parametru.

V blízké budoucnosti bych rád také zhotovil nabíjecí stanici, kdy se po zasunutí bezdrátový tlakový senzor začne automaticky nabíjet.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] Drew Gislason: „*ZigBee Wireless Networking*“. Newnes; Pap/Psc edition (August 29, 2008). ISBN: 978-0-7506-8597-9.
- [2] Karel Kadlec: „*Snímače tlaku - principy, vlastnosti a použití (část 3)*“. Automa 10/2007.
- [3] Interní dokumentace KNORR-BREMSE, Systems for Commercial Vehicles.
- [4] Interní technická dokumentace WABCO.
- [5] WABCO, 2012, dostupné na internetu: <http://www.wabco-auto.com/>
- [6] KNORR-BREMSE, 2012, dostupné na internetu: <http://www.knorr-bremse.cz/cz/>
- [7] Telegesis, 2012, dostupné na internetu: <http://www.telegesis.com/>
- [8] Digi, 2012, dostupné na internetu: <http://www.digi.com/>
- [9] Microchip, 2012, dostupné na internetu: <http://www.microchip.com/>
- [10] MAHA, 2012, dostupné na internetu: <http://www.maha-cz.cz/cz/>
- [11] Cojali, 2012, dostupné na internetu: <http://www.cojali.com/>